

Leszek Bychto
Wydział Elektroniki i Informatyki
Politechnika Koszalińska
ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin

UKŁAD MONITOROWANIA SYSTEMU FOTOWOLTAICZNEGO.

Słowa kluczowe: fotowoltaika, monitorowanie, MAX4376, PolySun

Streszczenie

W pracy przedstawiono budowę systemu fotowoltaicznego znajdującego się Laboratorium Optoelektroniki Wydziału Elektroniki i Informatyki Politechniki Koszalińskiej. System służy celom dydaktycznym i rozwojowym z zakresu fotowoltaiki. System wzbogacono w układ monitorowania stanu pracy oraz oprogramowanie do gromadzenia danych pomiarowych. W pracy zaprezentowano również przykładowe aplikacje wykorzystane do analizy danych eksperymentalnych. Rzeczywisty zysk energetyczny porównano z zyskiem energetycznym otrzymanym w wyniku symulacji za pomocą programu 'Polysun'.

1. Budowa systemu

Prezentowany system fotowoltaiczny ma strukturę autonomiczną. W skład systemu wchodzi panel fotowoltaiczny zbudowany z dwóch modułów SF50, akumulator kwasowy VARTA Hobby 12V, 90Ah, przetwornica napięcia 12VDC-230AC 150W; regulator systemu RSS-02 oraz wykonany w ramach inżynierskiej pracy dyplomowej układ pomiaru parametrów pracy.

Panel fotowoltaiczny – każdy z modułów zawiera 36 ogniw. Całkowita moc modułu wynosi 50Wp(+/-5%). Napięcie $V_{oc}=21,1V$ a $I_{sc}=3,1A$. Optymalny punkt pracy to 17,1V i 2,9A. Podane parametry odnoszą się do warunków oświetlenia AM1,5 i 1000W/m². Moduły podłączono równolegle. Panel fotowoltaiczny zamocowano na dachu budynku D kampusu Politechniki Koszalińskiej przy ul.Śniadeckich w kierunku wschodnim (takie usytuowanie uwarunkowane było układem mocującym). Kąt między płaszczyzną dachu a panelu wynosi 45°.

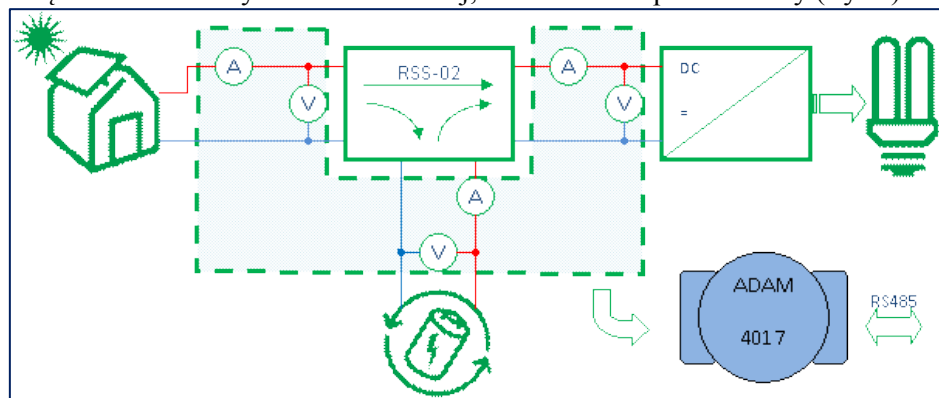
Regulator systemu – regulator RSS-02 wykonano w Instytucie Technologii Elektronowej w Krakowie. Do zadań regulatora należy:

- Nadzór nad procesem ładowania akumulatora i niedopuszczenie do jego przeładowania
- Odłączenie obciążenia systemu (przetwornicy) z chwilą osiągnięcia minimalnego, dopuszczalnego poziomu naładowania akumulatora. Zapobiega to procesowi pełnego rozładowania i zasiarczenia.
- Załączenie obciążenia w momencie osiągnięcia przez akumulator określonego poziomu naładowania.

Regulator może pracować z akumulatorami 12V lub 24V. Maksymalny prąd ogniwa i odbiornika wynosi 15A, maksymalny pobór prądu przez regulator to 5mA. Regulator dba o dostarczanie energii z baterii słonecznej do obciążenia. Jeżeli bateria jest w stanie dostarczać więcej energii niż potrzebuje obciążenie to nadwyżka gromadzona jest w akumulatorze. Jeżeli napięcie ładowania przekroczy 13,7V±0,2V (27,4V±0,4V) to regulator przerywa proces ładowania

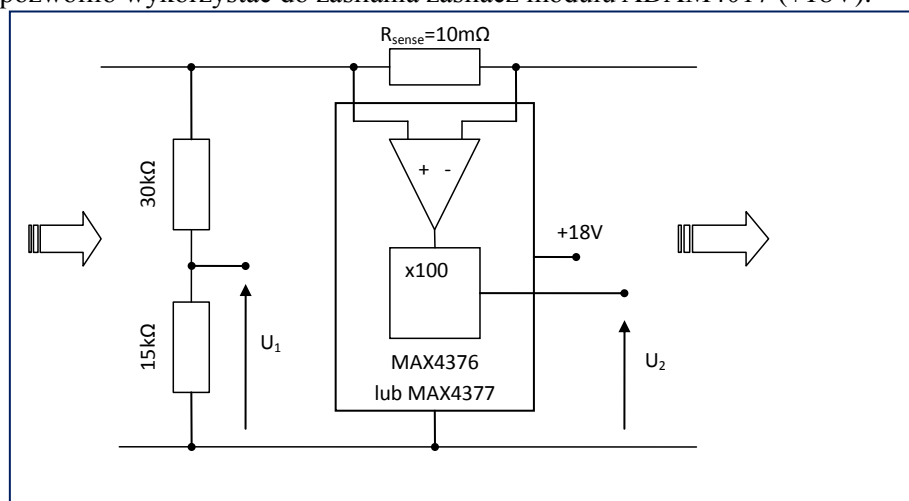
akumulatora. Jeżeli warunki słoneczne nie pozwalają na dostarczenie wystarczającej energii do obciążenia to regulator pobiera brakującą część z akumulatora. Pobieranie energii z akumulatora może trwać do chwili osiągnięcia przez akumulator napięcia $11,1V \pm 0,2V$ ($22,2V \pm 0,4V$). Po osiągnięciu przez akumulator tego poziomu następuje odłączenie obciążenia od systemu. Zapobiega to całkowitemu rozładowaniu akumulatora. Ten stan trwa do momentu osiągnięcia przez akumulator napięcia włączenia obciążenia $12,6V \pm 0,2V$ ($25,2V \pm 0,4V$). W przypadku długotrwałego wyłączenia obciążenia akumulator jest stale doładowywany tak by utrzymywać poziom naładowania $13,7V \pm 0,2V$ ($27,4V \pm 0,4V$).

Układ monitorowania. Zasadniczo wyróżnia się trzy rodzaje systemów monitorowania: globalny, analityczny i naukowy [3]. W przypadku prezentowanego systemu PV wybrano najprostszy, należący do grupy systemów monitorowania globalnego. W jego skład wchodzi: moduł pomiarowy ADAM4017 firmy Advantech, 3 dzielniki napięcia i 3 układy zamiany prądu na napięcie. Punkty pomiarowe włączono w obwody baterii słonecznej, akumulatora i przetwornicy (Rys1.).



Rys. 1. Schemat blokowy systemu fotowoltaicznego

Dzielniki napięcia służą dopasowaniu napięć do poziomu akceptowalnego przez wejścia karty pomiarowej ($\pm 10V$). Stosunek podziału wynosi 1:3 (rezystory $30k\Omega$ i $15k\Omega$) (Rys2.). Pomiar prądu zrealizowano poprzez pomiar spadku napięcia na rezystorze pomiarowym $R_{sense} = 10m\Omega$. Spadek napięcia mierzony jest za pomocą wzmacniaczy pomiarowych wbudowanych w układy scalone firmy MAXIM modele MAX4376 i MAX4377 [2]. Są to układy przeznaczone do kontroli prądu w blokach zasilania. Sygnał napięciowy proporcjonalny do mierzonego prądu jest dodatkowo wzmacniany przez te układy 20-krotnie, 50-krotnie i 100-krotnie w zależności od wykonania. W pracy zastosowano układ o wzmacnieniu 100x co oznacza że maksymalny, możliwy do zmierzenia prąd wynosi $10V / (100 \times 10m\Omega) = 10A$. Dość dużą zaletą tych układów jest szeroki zakres napięć zasilających (+3V do 28V) co pozwoliło wykorzystać do zasilania zasilacz modułu ADAM4017 (+18V).



Rys. 2. Schemat jednego z 3 układów pomiaru napięcia i prądu

Niestety układy te są w stanie mierzyć prąd płynący w jednym kierunku dlatego do pomiaru prądu akumulatora wykorzystano podwójny układ MAX4377. Jeden ze wzmacniaczy mierzy prąd ładowania dając napięcie większe od 0V, gdy płynie prąd rozładowania daje napięcie 0V. Drugi wzmacniacz pomiarowy włączono tak by mierzył prąd rozładowania.

Ostatecznie zajęto 7 wejść analogowych modułu pomiarowego ADAM4017. Ósme, niewykorzystane wejście podłączono do masy tak by nie generowało sygnałów zakłócających.

Całość wraz z bezpiecznikami zamontowano w szafce elektrycznej. Moduł ADAM4017 podłączono kablem 4-żyłowym z konwerterem RS485<->RS232 (ADAM 4520). Przejście z interfejsu RS485 na RS232 umożliwiło podłączenie systemu pomiarowego do komputera PC. Więcej szczegółów dot. budowy prezentowanego systemu solarnego znajduje się w pracy [1].



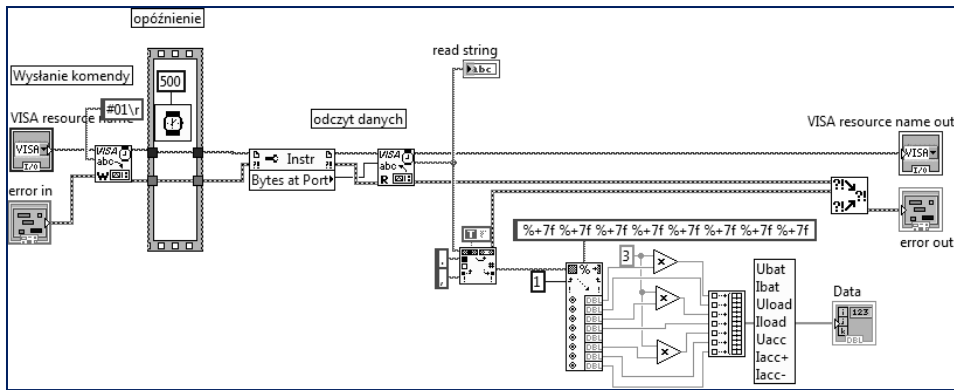
Rys. 3. Widok systemu fotowoltaicznego

W czasie eksploatacji systemu podłączono do przetwornicy żarówkę 50W, włączaną okresowo przez programator dobowy. Dzięki temu akumulator był w stanie częściowego rozładowania a system mógł, w ciągu dnia, pracować w trybie gromadzenia energii.

2. Oprogramowanie

Do komunikacji z systemem pomiarowym napisano aplikację w środowisku NI LabVIEW. Za odczyt danych z modułu pomiarowego i konwersję danych z postaci tekstowej na liczbową odpowiada procedura 'Akwizytor.vi'. Uruchomienie tej procedury powoduje wysłanie komendy '#01\r'. Jest to komenda nakazująca urządzeniu nr 1 podanie napięć występujących na wszystkich wejściach pomiarowych. W odpowiedzi otrzymujemy łańcuch tekstowy zaczynający się znakiem '>' i zawierający 8 liczb oddzielonych znakiem '+' lub '-'.

Na przykład: „>+12.012+2.800+11.603+2.005+0.005+12.634+0.800+0.001”.



Rys. 4 Kod procedury realizującej odczyt danych pomiarowych – 'Akwizytor.vi'.

Po odczytaniu łańcucha tekstowego funkcją 'VISA Read' następuje zamiana separatorów liczb dziesiętnych z kropek na przecinki tak aby funkcja 'Scan From String' mogła zamienić 8 liczb występujących w łańcuchu na zmienne numeryczne typu float. Odczytane napięcia są 3 razy mniejsze od rzeczywistych dlatego funkcja dba o przywrócenie ich właściwych wartości. Ostatecznie procedura tworzy wektor zawierający 7 liczb odpowiadających napięciom i prądom w punktach pomiarowych systemu solarnego. Procedura 'Akwizytor.vi' wywoływana jest co 5 sekund a odczytane dane wpadają do tymczasowego bufora. Jeżeli pomiar czasu wykaże przejście do nowej minuty to dane z bufora podlegają uśrednieniu. Następnie do uśrednionych danych dodawany jest znacznik czasu. Wartość minut znacznika czasu odpowiada minucie dla której dokonano pomiarów a wartość sekund ustawiana jest na 30. Utworzony rekord zawiera 8 pól: znacznik czasu (YYYY-MM-DD/hh:mm:30); napięcie fotoogniwa Vbat; prąd fotoogniwa Ibat; napięcie obciążenia Uload; prąd obciążenia Iload; napięcie akumulatora Uacc; prąd ładowania akumulatora Iacc+; prąd rozładowania akumulatora Iacc-. Następnie program wpisuje nowy rekord do pliku. Jeżeli jest to pierwszy rekord danego dnia to zostaje utworzony nowy plik o nazwie zawierającej aktualną datę (YYYY-MM-DD.txt). Pełny plik z danymi zawiera 60x24=1440 rekordów. Wszystkie pliki zapisywane są do jednego, podanego przez użytkownika, katalogu.

5. Analiza wyników

Do analizy danych zawartych w plikach dobowych przygotowano program prezentujący wyniki pomiarów w postaci wykresów. Wyświetlane są wykresy napięć, prądów, mocy, energii i ładunku (Rys. 5). Prąd płynący przez obciążenie oraz prąd ładowania akumulatora mają wartości ujemne tak by spełnione było równanie bilansu prądów:

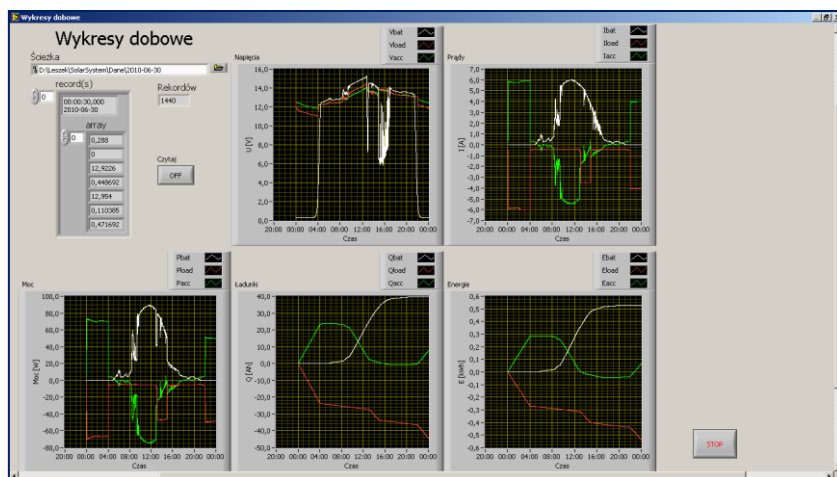
$$I_{bat} + I_{acc} + I_{load} = 0 \quad (1)$$

Inne parametry, uzależnione od tych prądów mają również wartości ujemne. I tak, odbiorniki energii posiadają wartości ujemne mocy a źródła energii posiadają moce dodatnie. Napięcia, prądy i moce wyrażone są ich wartościami średnimi za okres 1 minuty natomiast ładunki i energie są przyrostami tych wartości wg. zależności:

$$Q(t)[Ah] = Q(t-1)[Ah] + I(t)[A]\Delta t[h] \quad (2a)$$

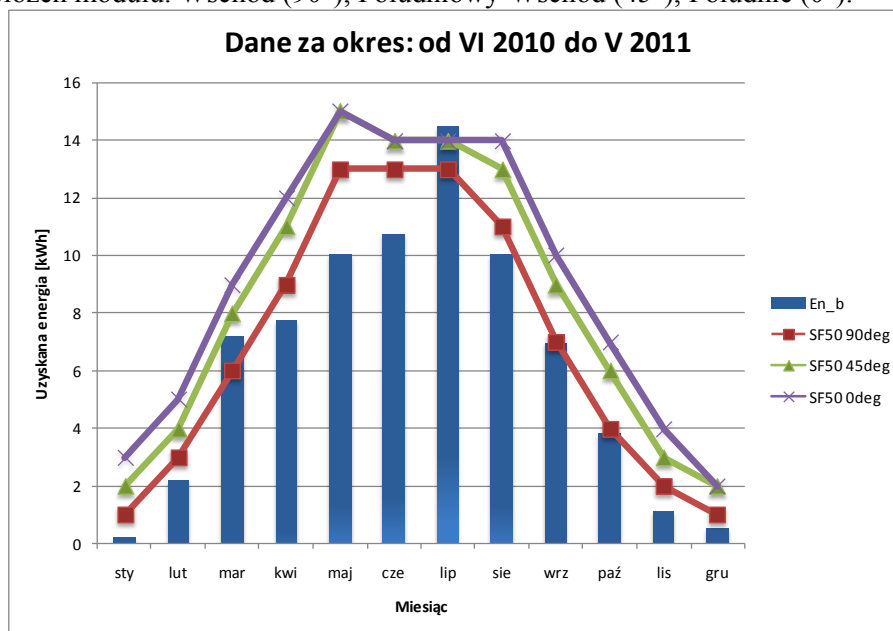
$$E(t)[Wh] = E(t-1)[Wh] + I(t)[A] \cdot U[t][V] \cdot \Delta t[h] \quad (2b)$$

Obliczanie przyrostów ładunków i energii rozpoczyna się od wartości zerowych tzn. $Q(0)=0$ i $E(0)=0$. W przyszłości planuje się wykorzystanie sum końcowych z poprzedniego dnia jako wartości startowych.



Rys. 5 Panel użytkownika programu 'Wykresy dobowe'.

Na rysunku 6 zaprezentowano miesięczne zestawienie pozyskanej energii z fotoogniw za okres od czerwca 2010 do maja 2011 (En_b). Na wykres naniesiono również wartość teoretyczną uzyskanej energii otrzymanej w wyniku symulacji modułów SF50 w środowisku 'PolySun'. Symulacji dokonano dla trzech położzeń modułu: Wschód (90°), Południowo-Wschód (45°), Południe (0°).



Rys. 6 Porównanie rzeczywistej energii uzyskanej z modułu fotowoltaicznego (En_b) z uzyskaną energią otrzymaną w wyniku symulacji programem 'Polysun' dla 3 położzeń modułów – Wschód (90°), Południowo-Wschód (45°), Południe (0°).

Porównanie wyników rzeczywistych z wynikami symulacji pokazało ich dość dobrą zgodność dla dwóch miesięcy: września i października. W lipcu pozyskano więcej energii niż by to wynikało z symulacji. Wyniki z sierpnia są zaniżone z powodu braku części danych, spowodowanego awariami systemu monitorowania. Energia pozyskana w pozostałych miesiącach dużo niższa niż to przewiduje symulacja.

6. Podsumowanie

W pracy przedstawiono budowę systemu fotowoltaicznego, niewielkiej mocy, przeznaczonego do zadań dydaktycznych i badawczych. Moduł akwizycji danych pomiarowych wzbogacił system o możliwość rejestracji rzeczywistych parametrów pracy systemu i umożliwił uzyskanie bardzo cennych danych na temat monitorowanego systemu.

Otrzymane dane mogą być traktowane jako podstawa do optymalizacji typowego systemu PV pod kątem zwiększenia jego wydajności oraz do oceny zasobów energii słonecznej w obszarze Pomorza Środkowego.

Podsumowując, można powiedzieć iż ciągły monitoring stanu pracy systemu fotowoltaicznego pozwala poprawić wydajność systemu, informować o sytuacjach alarmowych i ewentualnie eliminować wady projektowe.

Bibliografia

- [1] M.Marciniak, *Rejestracja parametrów pracy systemu solarnego*, Praca dyplomowa inżynierska - Politechnika Koszalińska, WEiI, 2005.
- [2] Noty aplikacyjne układów scalonych: <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX4376-MAX4378.pdf>
- [3] Ewa Klugman-Radziemska, Michał Modzelewski, *Metody realizacji pomiarów składowych natężenia promieniowania słonecznego dla monitoringu naukowego w różnych zakresach widmowych na potrzeby zastosowań fotowoltaicznych*, „Elektronika” 4/2011, s.11-17

Title: The monitoring circuit of photovoltaic system.

Keywords: photovoltaics, monitoring, MAX4376, PolySun

Abstract

The paper presents the photovoltaic system placed in The Laboratory of Optoelectronic, Division of Electronics and Computer Sciences, Technical University of Koszalin. The system is used for didactics and research tasks on the field of photovoltaics. The monitoring circuit and the application for collecting data have been added to the system. The examples of the applications used for analysis of the experimental data are also presented. The real energetic yield was compared with energetic yield obtained from simulation by ‘PolySun’ application.

Fig. 1 The Block diagram of photovoltaic system.

Fig. 2 The circuit (one of three) of voltage and current measurements.

Fig. 3 The view of photovoltaic system.

Fig. 4 The code of „Akwizytor.vi” procedure.

Fig. 5 The characteristics of a day.

Fig. 6 Comparison of the real energetic yield (E_{n_b}) with energetic yield obtained from simulation by ‘Polysun’ application for 3 orientations of the PV module – East (90deg), South-East (45deg) and South (0deg).